

淮安一站更新改造中水泵选型问题探讨

戴 健, 古凤英

(江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200)

摘要:淮安一站原有水泵空蚀破坏严重, 长期偏离设计工况运行. 在更新改造选型时, 为确保在灌溉和排涝两种工况下泵站均能发挥最好效益, 所选泵型的高效区应在淮安一站特征扬程的范围之内, 新选水泵要求叶片可以调节, 并且适当考虑增容. 在比较了几种泵参数的基础上, 推荐采用 ZMB811-700 型水泵, 该泵型直径增加 10 cm 到 $D_1 = 1.64$ m, 转速不变, 设计扬程下流量 $Q = 10.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 效率 $\eta = 86\%$, 水泵可长期运行在高效区, 并可增加 30% 的流量, 经济效益和社会效益显著.

关键词:泵站改造; 水泵选型; 扬程; 流量; 模型泵

中图分类号: TV675

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2002)01-0044-03

1 工程概况和改造缘由

淮安第一抽水站(淮安一站)位于江苏淮安市南郊, 苏北灌溉总渠与京杭大运河的交汇处, 该站的主要作用是: ①作为南水北调东线工程的第二级抽水站, 抽引江水北上; ②抽排白马湖地区的涝水. 该站 1972 年 12 月正式动工兴建, 1974 年 3 月通过竣工验收. 投运 26 年来开机 455 161 台·h, 抽水 134.34 亿 m^3 . 为苏北地区工农业生产发挥了巨大作用.

淮安一站装有 64ZLB-50 型立式半调节轴流泵 8 台, 配套 TPL-215/31-24 型立式同步电动机, 总装机容量为 6 400 kW, 设计扬程 7.0 m, 设计流量 $60 \text{ m}^3/\text{s}$. 水泵采用肘型进水流道, 出水流道为平直管, 采用拍门断流, 在拍门外侧设有油压启闭快速闸门, 作为事故备用闸门和检修闸门.

淮安一站的主辅机设备均为 20 世纪 70 年代初的产品, 经过 26 年的运行, 目前水泵空蚀破坏严重, 8 台水泵均存在空蚀破坏, 叶片背面空蚀面积从 390 cm^2 到 620 cm^2 不等, 深度达 3.6 cm, 并有多处穿孔; 叶片端部因空蚀已成锯齿状, 转轮间隙从原来的 1 mm, 增加到现在的 2~7.6 mm, 转轮室因间隙空蚀破坏宽度达 46 cm. 不少机组已穿孔喷水, 其它过流部件亦因空蚀破坏严重失重脱落.

由于水泵长期偏离设计工况运行, 水流绕流叶片时产生冲击和脱流, 使空蚀加剧, 并产生振动. 因空蚀严重造成转动部件质量不均匀, 诱发机械振动, 当水力振动与机械振动叠加时, 振动加剧, 使水泵的

水导轴承负荷增加, 造成轴承加速磨损和地脚螺钉松动. 由于水泵长期在低效区运行, 使水泵单位能耗增加, 增加了抽水成本, 经济效益下降.

淮安一站的辅助设备、主电机和电气设备, 多数为国家机械设备成套局通报的淘汰产品, 市场上已购不到备品备件. 经有关单位测定, 电机定子老化严重, 远远低于规范要求, 电气强度已明显下降, 随时都有发生事故的可能.

综上所述, 淮安一站机组经 20 多年运行, 目前存在很多问题, 事故隐患增大, 属超期服役, 更换部分零部件已不能从根本上解决问题. 为确保江水北调安全运行, 须尽快进行更新改造.

2 淮安一站水泵选型问题探讨

对于在原水工建筑基本不改变的条件下, 更新改造的泵站, 在选择新机组时, 制约因素较之新建泵站要多得多. 因为要保持原有流道, 水泵直径只能在原泵直径基础上作小范围调整, 水泵转速和配套电机亦因电机基础和供电设备的影响不宜改变, 因此改造后效果如何主要取决于新选的水泵在空蚀特性和能量特性方面能否优于原有水泵特性. 现就淮安一站原水泵选型中存在的问题和新选水泵的技术问题提出一些意见.

2.1 淮安一站原设计中水泵选型存在的问题

由于历史原因, 在 20 世纪 60 年代, 我国轴流泵只有两个模型, 即 $n_s = 500$ 和 $n_s = 700$, 两个模型的空蚀特性和能量特性都比较差, 加之当时科研设备

和技术均比较落后,因此多数泵站的选型设计均比较简单,一般均是按产品定规模。淮安一站当时选用 64ZLB-50 型立式轴流泵,此种水泵当时在国内多数泵站均在使用,江苏省江都一、二站亦使用此种水泵,是上海水泵厂定型产品,虽然该泵能量特性与淮安一站的水位组合不相适应,但也无法改变,只能勉强使用。淮安一站选用 64ZLB-50 型水泵主要存在的问题是:

a. 水泵最优工况点 ($\beta_0 = 0^\circ$, $H_0 = 8\text{ m}$, $Q_0 = 7.0\text{ m}^3/\text{s}$, $\eta_0 = 0.87$) 与该站实际运行工况 ($H_r = 4.5\text{ m}$, $Q_r = 8\text{ m}^3/\text{s}$, $\beta = 0^\circ$, $\eta = 0.76$) 相差太远。

b. 水泵 $n = 250\text{ r/min}$, $D = 1.54\text{ m}$, 表征叶片端部的切线速度相似准数为 $nD = 385$, 与现行水泵技术规范规定值相比偏小。

c. 水泵产品说明中虽然有半调节功能,但由于调节方法极为不便,加之水泵运行一段时间后,调节连接螺栓多数锈蚀无法拆卸,因此该泵不可能按扬程变化而调节叶片角度。

d. 水泵配套功率为 800 kW, 实际运行所需功率多数情况下只 600 kW 左右,电机裕度太大,造成能源浪费。

基于上述情况,淮安一站更新改造中水泵选型正确与否将直接影响到改造后的经济效益能否得到正常发挥,应认真对待。

2.2 水泵选型分析

由于江水北调规划工程近几年来不断变化和逐步完善,淮安一站上、下游水位组合较之 20 世纪 60 年代有一些变化,因此应根据历年来的水文资料,按水泵设计规范进行扬程计算。计算公式为

$$H_{\text{平均}} = \frac{H_1 Q_1 t_1 + H_2 Q_2 t_2 + H_3 Q_3 t_3 + \cdots + H_n Q_n t_n}{\sum Q_i t_i}$$

式中: $H_{\text{平均}}$ 为加权平均扬程, m; $H_1, H_2, H_3, \cdots, H_n$ 为各阶段出现的扬程, m; $Q_1, Q_2, Q_3, \cdots, Q_n$ 为各阶段出现的流量, m^3/s ; $t_1, t_2, t_3, \cdots, t_n$ 为各阶段历时, h。

淮安一站原规划站上水位按向北送水运东闸上游水位 11.1 m, 推算到站前出水池水位为 11.2 m。实际自建成运行以来, 上游出水池加权平均水位仅 9.22 m。在排涝工况下原设计规划进水池水位为 5.86 ~ 4.63 m, 据建站以来资料统计, 排涝工况保证率为 90% 时, 日平均水位为 4.75 m, 最低运行水位取日平均最低水位 3.57 m, 最高水位取日平均最高水位 5.78 m, 站下水位按灌溉总渠行洪 5 ~ 10 年一遇洪水的 3 ~ 5 d 平均水位为 9.52 m, 原规划数字与实际运行数字相差不大。

根据有关分析资料^①, 经常规计算, 淮安抽水一站现有水位组合见表 1, 根据表 1 的特征水位确定该站两种工况下的运行净扬程见表 2。

表 1 淮安一站水位组合 m

运行工况	位置	最高运行水位	设计水位	最低运行水位	加权平均水位
灌溉	上游	9.97	9.70	8.42	9.22
	下游	6.50	4.86	3.76	5.18
排涝	上游	9.94	9.52	8.22	9.41
	下游	6.74	4.75	3.57	5.29

表 2 淮安一站灌溉、排涝两种工况下的运行净扬程 m

运行工况	上游水位	下游水位	净扬程
灌溉	9.97	3.76	5.94(最大)
	9.70	4.86	4.84(设计)
	8.42	6.50	1.92(最小)
	9.22	5.18	4.04(加权平均)
排涝	9.94	3.57	6.37(最大)
	9.52	4.75	4.77(设计)
	8.22	5.78	2.44(最小)
	9.41	5.29	4.12(加权平均)

从表 2 可见, 灌溉设计净扬程略高于排涝设计净扬程, 但两种工况下的加权平均净扬程相差不大, 这给选泵带来很大方便。为了确保两种工况下泵站均能发挥最好效益, 所选泵型的最高扬程取两种工况的最高扬程(即排涝最高扬程), 最低扬程取两种工况下的最低扬程(即灌溉最低扬程), 淮安一站改造工程运行水位组合与水泵特征净扬程列于表 3。所选水泵的高效率区应在上述特征扬程的范围之内。

表 3 淮安一站运行水位组合与水泵特征净扬程 m

上游水位	下游水位	特征扬程
9.94	3.57	6.37(最大)
9.70	4.86	4.84(设计)
8.42	6.50	1.92(最小)

这里应该说明的是, 表 3 所列的特征扬程是根据多年水文资料加权平均后获得的, 或选取一个典型年按 $P = 85\% \sim 90\%$ 计算出来的, 所获得的上、下游水位差只是水泵的净扬程, 而水泵的工作扬程为:

$$H_{\text{泵}} = H_{\text{净}} + \Delta H$$

式中 ΔH 为泵站流道水力损失, 一般在选泵时不易准确获得, 原因是在流道水力损失计算中, 水泵前后的流速均按平均流速计算, 并假定流动在自模区范围内, 不计及粘性影响, 实际上由于水泵的存在, 在水泵进出水段有一很强的不稳定区, 这种不稳定区使流道内流速分布不均匀, 产生的局部损失无法计算。比较可靠的方法是通过水泵装置模型试验以获得 Δh (通过模型试验所得的流道水力损失), 再通过

①江苏省水利勘测设计院。淮安抽水一站加固改造工程运行水位组合分析论证资料, 1999。

原模型换算求出 $\Delta H^{[1]}$ 。但由于相似准则的局限性,在换算时亦将产生误差,因此当特征水位求出后,还需进一步论证求出水泵的真正工作扬程。按淮安一站的流道型式和几何尺寸,采用一般的水力学计算方法,初步算出设计流量下流道水力损失为 0.82 m,则水泵设计扬程为 $H_{\text{设}} = 4.84 \text{ m} + 0.82 \text{ m} = 5.66 \text{ m}$,适合该扬程的水泵有下列几种:ZLB-50,ZLB-70,ZLB-100,ZMB811-700,HD-50。

用穆迪(Moody)公式进行参数计算,获得在最优工况时各个泵型的参数见表 4。

表 4 5 种泵参数

原 型	最优工况参数 ($D_1 = 1.54 \text{ m}$)				
	$n/(r \cdot \min^{-1})$	H_0/m	$Q_0/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$\beta/(\circ)$	$\eta_{\text{max}}/\%$
ZLB-50 ^①	250	8	7	0	87.1
ZLB-70	250	5.48	7.92	0	84.5
ZLB-100	250	4.07	8.04	0	85
ZMB811-700 ^②	250	5.5	8.5	+1	84
HD-50	250	5.42	5.12	—	85.7

注:①原水泵;②可行性研究报告推荐采用泵型。

从表 4 可以看出,比较好的泵型为 ZLB70 和 ZMB811-700 两种,在效率方面相差不大,但流量相差近 $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$,因此可行性研究报告中推荐 ZMB811-700 泵型是比较合理的,但这种泵型的效率较低,空蚀性能尚需进一步考验,其性能指标只相当于国外 20 世纪 80 年代初期水平。建议有关单位结合南水北调工程进行工作扬程在 5 m 左右的新模型泵研究,比转速在 700~1000 之间比较合理。

2.3 淮安一站水泵桨叶调节问题

淮安一站原水泵虽然可以半调节,但由于操作不便,实际上水泵投运后根本不能调节,新选的水泵应增加叶片可以调节的功能。在通常情况下,已运行的水泵,当扬程不变时,水泵流量随桨叶安放角 β 的增加而增加,而且 β 在一定变化范围内效率不会有太大变化,因此桨叶调节可在用足电机功率的条件下,在一定扬程范围内增加水泵的流量。目前水泵叶片调节技术已比较成熟,并经过多座泵站的实际运行考验,其中如江都四站、皂河泵站均采用液压式不停机调节,水泵可在运行中进行 $\beta_1 \sim \beta_2$ 之间任一角度调节。江都一、二站则采用机械调节的方式^[2]。由高邮水泵厂研制的上置式机械调节装置,具有结构合理、动作可靠、运行平稳、操作维护方便、自动化程度高、叶片调节范围大等优点,淮安一站水泵可以采用。

2.4 淮安一站水泵增容问题

自 1996 年淮安三站建成投运后,淮安枢纽泵站抽水流量已扩大到 $246 \text{ m}^3/\text{s}$ 。但由于江都抽水站更

新改造后,其流量将增加 30% 左右,因此淮安抽水枢纽总抽水量如不相应增加,仍将成为南水北调东线工程的瓶颈。根据江都一、二站改造的经验,适当增加水泵直径,对原有建筑物不会有太大影响,但流量会增加较多。根据淮安一站的原水泵流道,只需在与水泵本体连接处,将原有流道适当扩大,即可满足要求。为此淮安一站的新泵可选用 ZMB811-700($D_1 = 1.64 \text{ m}$),比原泵直径增加 10 cm。ZMB811-700($D_1 = 1.54 \text{ m}$)泵特性曲线见图 1^①,经换算后水泵($D_1 = 1.64 \text{ m}$)特性曲线见图 2^②。

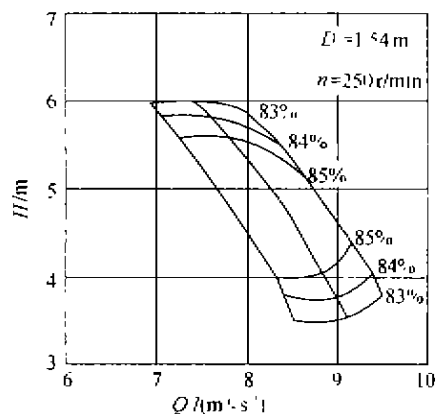


图 1 ZMB811-700 水泵($D_1 = 1.54 \text{ m}$)特性曲线

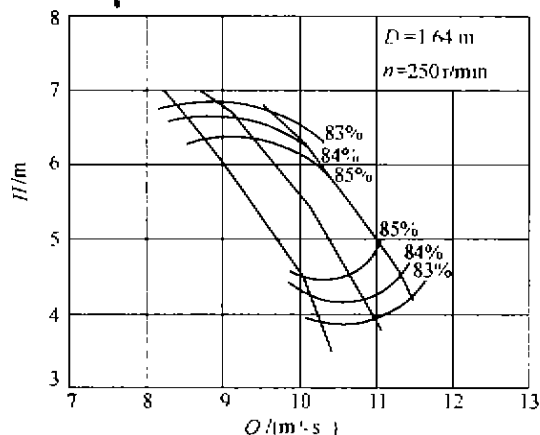


图 2 ZMB811-700 水泵($D_1 = 1.64 \text{ m}$)特性曲线

从特性曲线可看出,ZMB811-700($D_1 = 1.54 \text{ m}$)水泵高效区在 4.0~5.0 m 之间,设计工况下水泵流量可增至 $8.2 \text{ m}^3/\text{s}$,水泵效率为 84%。ZMB811-700($D_1 = 1.64 \text{ m}$)水泵高效区在 4.5~6.5 m 之间,基本上将一站各种特征扬程包络在内,设计工况下水泵流量可增至 $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$,水泵效率为 86%,并且水泵在最高净扬程(6.37 m)时,也能稳定运行^②。改造后的泵站总流量比原水泵增加 30% 左右,全站可增加流量 $18.4 \text{ m}^3/\text{s}$,大大提高了经济效益和社会效益。在此应该指出的是:水泵直径增加后,(下转第 61 页)

①江苏省水利勘测设计院。淮安抽水一站加固改造工程可行性研究报告,1999。

②江苏机电排灌工程研究所。淮安一站技术改造泵装置模型试验报告,1999。